

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21360233

研究課題名（和文） 対流性集中豪雨予測に関する都市気象学的アプローチ

研究課題名（英文） Urban Meteorological Approach for Localized Heavy Rainfall

研究代表者

神田 学（KANDA MANABU）

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：90234161

研究成果の概要（和文）：

対流性集中豪雨の予測精度を向上させるため都市気象学的なアプローチによって以下の成果を得た。(1) 詳細な都市気象データベースの解析から、集中豪雨頻発域である東京一練馬一埼玉ライン上に都市化による海風遅延領域が見出された。(2) 詳細な建物 GIS を利用した乱流計算により実都市の流体力学的粗度を推定する新しい推定式が提案された。(3) 都市陸面に関する最新知見を導入した都市気象モデルによる豪雨シミュレーションにより、都市化により集中豪雨が強化されることが示された。

研究成果の概要（英文）：

In order to improve the accuracy of localized urban rainfall prediction, this project used urban meteorological approaches and obtained the following results: (1) investigations using very detailed urban GIS database revealed the existence of “see breeze stagnant region” along Tokyo-Nerima-Saitama line, (2) Large Eddy Simulation (highly accurate turbulence simulation) derived a new aerodynamic parameterization for real urban surfaces, and (3) meso-scale weather simulations with the most advanced urban surface parameterization demonstrated that the urbanization strengthened localized rainfall intensity.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 4,600,000  | 1,380,000 | 5,980,000  |
| 2010年度 | 2,900,000  | 870,000   | 3,770,000  |
| 2011年度 | 3,500,000  | 1,050,000 | 4,550,000  |
| 2012年度 | 2,100,000  | 630,000   | 2,730,000  |
| 年度     |            |           | 0          |
| 総計     | 13,100,000 | 3,930,000 | 17,030,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水文学 都市気象

## 1. 研究開始当初の背景

夏期の晴天日の午後に発生する対流性集中豪雨は、局地・局時間性が強く、首都圏に

大きな被害を生じさせ、その発生予測は都市防災の観点からも緊急性の高い課題である。水工学・気象学分野では、降雨レーダーを利

用した短時間降雨予測技術が進展し成果を上げているが、いつ・どこで発生するかを予測することは困難である。これらの降雨予測研究とは別に、ヒートアイランドなど都市気象研究の技術レベルも進展している。現在の短時間降雨予測技術は、特に「都市域」を前提としているわけではなく、都市気象研究が都市の豪雨予測に貢献する大きな余地を残している。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、都市気象学の研究蓄積を応用し、都市対流性豪雨の予測技術に貢献することである。都市気象学的アプローチとは、(1) 高分解能の都市気象・地理情報のフル活用、(2) 都市陸面の熱流体力学的過程に関する最新知見を導入した都市気象モデルによる豪雨シミュレーション、の2本柱よりなる。「都市域」に特化することにより、通常の短時間豪雨予測で考慮されない、豊富な観測・地理情報・数値モデルの資産を利用し、都市気象との関連性、豪雨先行指標の利用可能性、降雨予測精度の向上性、を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 高時空間解像度の都市気象情報の解析  
降雨予測にあまり利用されていない細密都市気象情報、具体的には、地上風速データ(大気汚染常時観測局・東京 METROS)、降雨データ(東京アメッシュ・東京都降雨データ)、東京湾海面温度分布(NGSST/AVHRR)を詳細に解析する。さらに、東京都の細密建物情報を申請者の熱粗度理論関係式(Kanda et al., 2007)に代入し、建物物理マップ(抵抗係数・熱水蒸気交換係数・修正粗度高さ)を作成する。これらを基に、地上風系・建物地理と降雨量との対応関係を統計的に把握する。

(2) 都市気象モデルの高精度化による豪雨発生予測可能性の検討  
メソ気象モデル WRF に最新の都市陸面モデル(Kanda et al., 2005)と細密建物情報を組み込んで、降雨シミュレーションを行う。建物物理情報(抵抗係数・熱水蒸気交換係数・修正粗度高さ)の有無が、降雨再現の精度向上に寄与するか定量的に把握する。

## 4. 研究成果

(1) 東京一埼玉ラインにおける海風遅延領域の発見

高時空間解像度の都市気象情報を詳細に検討した結果、東京一練馬一埼玉を結ぶライン上で、その東西域に比べて海風侵入が著しく遅延する領域が見出された(図1)。この領域は、周囲よりも弱風化・高温化し、夕刻近くまで海風が停滞する。海風遅延域は、集中豪雨の頻発域とほぼ合致しており、海風遅延域と集中豪雨発生の因果関係は、この研究課題

内では完全には解明されなかったが、今後、その解明が重要な課題として残された。また、次に述べる高精度化した都市気象モデルによって、この海風遅延域が、都市域の運動量・熱粗度の増加及び、人口排熱の増加といった、都市化によって引き起こされていることが明らかとなった。

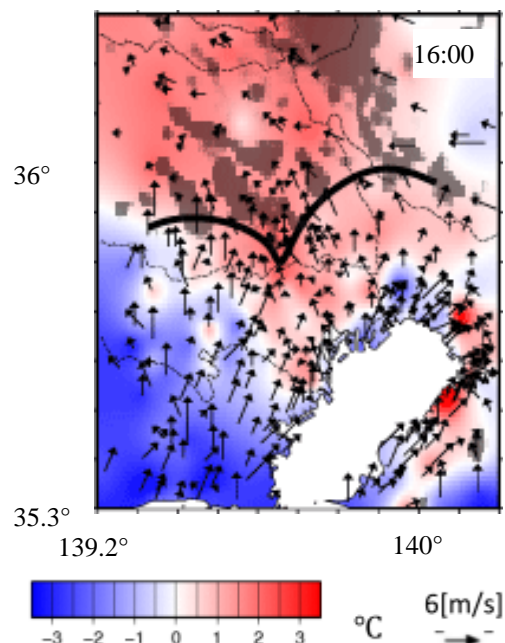


図1 東京一練馬一埼玉ライン上の海風遅延領域の発見 太線が海風フロントで内陸のグレーは雲。カラーコンターは地表気温の空間偏差。

(2) 新しい都市地表面粗度のパラメタリゼーションの提案

東京および名古屋 LES の詳細な建物情報 GIS を利用して、建物形状を直接解像した高精度の乱流計算を実施して、実市街地の流体抵抗を正確に見積もり、新しい都市地表面粗度のパラメタリゼーションを提案した(図2)。対象市街区域における、平均建物高さ、建物高さ分散、建ぺい率、フロントルエリア指数、最大建物高さ、の5つのGIS情報だけから、その街区の平均的な運動量粗度を見積もるものである。同時に修正粗度高さの推定式も提案した。これにより、メソ気象モデル用の運動量粗度・熱粗度のデータベース(東京・名古屋圏)を作成した。

(3) 都市陸面の熱流体力学的過程に関する最新知見を導入した都市気象モデルによる豪雨シミュレーション

東京における豪雨事例を対象として、都市陸面の熱流体力学的過程に関する最新知見を導入した都市気象モデルによる豪雨シミュレーションを行い、それによって都市化により集中豪雨が強化されることなどが示された(図3)。

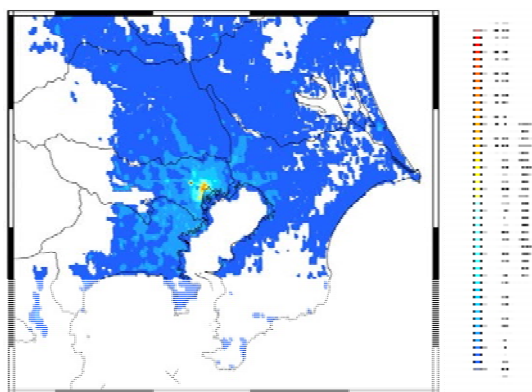


図 2 高精度乱流計算 (LES) によって実市街地の得られた関東の粗度マップデータベース

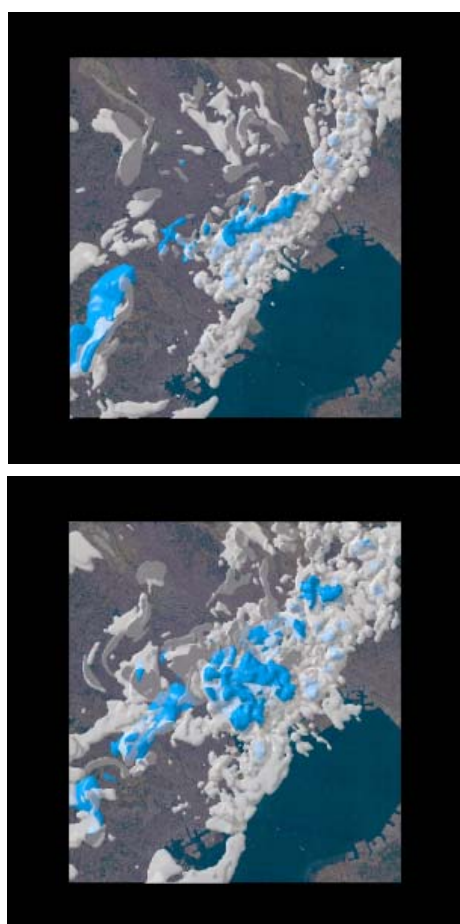


図 3 都市陸面の最新知見を導入した都市気象モデルによる豪雨シミュレーション (上)既存の気象モデル (下) 都市陸面を考慮した最新の気象モデル 白が雲、青が降雨。都市化の考慮により集中豪雨がさらに強化されている様子がわかる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 39 件)

1. 仲野久美子, 仲吉信人, Alvin C.G. Varquez, 神田 学, 足立幸穂, 日下博幸: 最新の都市パラメタリゼーションを導入した集中豪雨シミュレーション, 土木学会論文集 B1(水工学)69 巻, 4 号 I355-I360, 2013, <https://t2r2-inside.star.titech.ac.jp/t2r2/file?contentId=50208043&attributeDefId=File&contentNumber=CTT100657313> 査読有
2. 仲吉信人, 大久保洗平, Alvin C.G. Varquez, 神田 学, 藤原忠誠: 東京一練馬一埼玉ラインに見られる海風よどみ領域, 土木学会論文集 B1(水工学), 69 巻, 4 号, I\_1741-I\_1746, 2013, <https://t2r2-inside.star.titech.ac.jp/t2r2/file?contentId=50208063&attributeDefId=File&contentNumber=CTT100657324> 査読有
3. 八木綾子, 有場次郎, 稲垣厚至, 神田 学, 藤原忠誠, 藤吉康志: ドップラーライダーによる都市上空の流れ分類, 土木学会論文集 B1(水工学), 69 巻, 4 号, I\_1753-I\_1758, 2013, <https://t2r2-inside.star.titech.ac.jp/t2r2/file?contentId=50208052&attributeDefId=File&contentNumber=CTT100657315> 査読有
4. 八木綾子, 瀧本浩史, 藤原忠誠, 稲垣厚至, 藤吉康志, 神田 学: ドップラーライダー視線方向速度のパターン追跡による 2 次元風速場の推定, 水工学論文集, 第 56 巻, 1783-1789, 2012, <https://t2r2-inside.star.titech.ac.jp/t2r2/file?contentId=50208289&attributeDefId=File&contentNumber=CTT100657420> 査読有
5. Takimoto H, Inagaki A, Kanda M., Sato A, and Michioka T. : Length-scale similarity of turbulent organized structures over surfaces with different roughness types. Boundary-Layer Meteorology, 147(2), 217-236, 2012, DOI: 10.1007/s10546-012-9790-x, 査読有
6. Inagaki, A., Castillo, M. C., Yamashita, Y., Kanda, M. and Takimoto, H.: Large eddy simulation coherent flow structures within a cubical

- canopy. *Boundary-Layer Meteorology*, 142(2), 207-222, 2012, DOI: 10.1007/s10546-011-9671-8 査読有
7. 神田 学, 稲垣厚至, 瀧本浩史: 都市の上空を流れる風, *日本風工学会誌* 37巻, 3号, pp 184-191, Jul 2012, <https://t2r2-inside.star.titech.ac.jp/t2r2/file?contentId=50208042&attributeDefId=RelatedFile&filename=1370239688220.pdf&filepath=%2Fvar%2Fopt%2Fks%2Ffile%2Fstatic0%2F5731%2FCTT100657311%2F13702396882240%2F1370239688220.pdf> 査読有
  8. 宮本崇史, 稲垣厚至, 神田 学: 3次元建物 GIS を用いた LES による東京街区の流体力学的パラメタリゼーション, *水工学論文集*, 第 56 巻, 1801-1807, 2012, DOI: 査読有
  9. Castillo, M. C., Inagaki, A., Kanda, M.: The effects of inner and outer layer turbulence of a convective boundary layer in the near-neutral inertial sublayer over an urban like surface. *Boundary-Layer Meteorology*, 140(3), 453-469, 2011, DOI: 10.1007/s10546-011-9614-4 査読有
  10. Nottrott, A., Onomura, S., Inagaki, A., Kanda, M., Kleissl, J.: Convective heat transfer on leeward building walls in an urban environment: Measurements in an outdoor scale model. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 54, 3128-3138, 2011, DOI: 査読有
  11. Takimoto, H., Sato, A., Barlow, J. F., Moriwaki R., Inagaki, A., Onomura, S. and Kanda, M.: Particle Image Velocimetry Measurements of Turbulent Flow Within Outdoor and Indoor Urban Scale Models and Flushing Motions in Urban Canopy Layers, *Boundary-Layer Meteorology*, Vol 140(2), pp.295-314, 2011, DOI:10.1007/s10546-011-9612-6, 査読有
  12. Michioka, T., Sato, A., Takimoto, H. and Kanda, M.: Large-Eddy Simulation for the Mechanism of Pollutant Removal from a Two-Dimensional Street Canyon, *Boundary-Layer Meteorology*. 138(2), 195-213, 2011, DOI:10.1007/s10546-010-9556-2 査読有
  13. Varquez, A. C. G., Kobayashi, K., Kanda, M. and Kinouchi., T.: Applicability of an Improved Water and Energy Transfer Processes Model on Rapid Rainfall-Runoff Events of Toyo Urban Watersheds, *水工学論文集*, 第 55 巻, 25-30, Feb 2011, <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00028/2011/55-0005.pdf> 査読有
  14. 福本恵梨子, 仲吉信人, 神田 学, 曾根敦: 東京における夏期集中豪雨の空間偏差 — 詳細な都市幾何形状データを考慮して —, *水工学論文集*, 第 55 巻, 397-402, Feb 2011, <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00028/2011/55-0067.pdf> 査読有
  15. 小野村史穂, 服部康男, 稲垣厚至, 瀧本浩史, 神田 学: 建物の鉛直壁面に発達する熱境界層の実測, *水工学論文集*, 第 55 巻, 337-342, Feb 2011, <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00028/2011/55-0057.pdf> 査読有
  16. Grimmond, C. S. B., Blackett, M., Best, M. J., Baik, J.-J., Belcher, S. E., Beringer, J., Bohnenstengel, S. I., Calmet, I., Chen, F., Coutts, A., Dandou A., Fortuniak, K., Gouvea, M. L., Hamdi, R., Hendry, M., Kanda, M., Kawai, T., Kawamoto, Y., Kondo, H., Krayenhoff, E. S., Lee, S.-H., Loridan, T., Martilli, A., Masson, V., Miao, S., Oleson, K., Ooka, R., Pigeon, G., Porson, A., Ryu, Y.-H., Salamanca, F., Steeneveld, G. J., Tombrou, M., Voogt, J. A., Younga D. T. and Zhang, N.: Initial results from Phase 2 of the international urban energy balance model comparison, *International journal of climatology*, 2010, DOI: 10.1002/joc.2227, 査読有
  17. Kawai, T. and Kanda, M.: Urban Energy Balance Obtained from the Comprehensive Outdoor Scale Model Experiment. Part I: Basic Features of the Surface Energy Balance, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 1341-1359, Jul 2010, <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010JAMC1992.1> 査読有
  18. Kawai, T. and Kanda, M.: Urban Energy Balance Obtained from the Comprehensive Outdoor Scale Model Experiment. Part II: Comparisons with Field Data Using an Improved Energy Partition, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 1360-1376, Jul 2010, <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010JAMC1993.1> 査読有
  19. Inagaki, A. and Kanda, M.: Organized

Structure of Active Turbulence Over an Array of Cubes within the Logarithmic Layer of Atmospheric Flow, *Boundary-Layer Meteorol.*, 135(25), 209-228, 2010, DOI:10.1007/s10546-010-9477-0 査読有

20. 下重 亮, 仲吉信人, 神田 学: 都市要因を考慮した夏季関東における都市型集中豪雨の多事例解析, *水工学論文集*, 第 54 巻, 349-354, 2010, <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00028/2010/54-0059.pdf> 査読有
21. 下重 亮, 仲吉信人, 神田 学: 都市の幾何形状と地形によって生じる海風の収束が東京の夏季局地的集中豪雨発生に及ぼす影響, *土木学会水工学論文集*, 53, 277-282, Mar. 2009, <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00028/2009/53-0047.pdf> 査読有
22. 小田僚子, 神田 学: 夏季の東京湾海面温度変化と都市気温の関係—東京湾は都市の気温上昇を抑制するか?—, *土木学会水工学論文集*, 53, 319-324, Mar. 2009, <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00028/2009/53-0054.pdf> 査読有
23. 神田 学: WRF の都市気象研究への応用, *日本流体力学会機関誌「ながれ」*, Vol 28, No1, 21-28, 2009, <http://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?d=28-1tokushu04.pdf&dir=70> 査読有

[学会発表] (計 53 件)

1. 稲垣厚至, 宮本崇史, 神田 学: LES を用いた都市地表面のフィードバックパラメタリゼーション, *日本流体力学会年会 2012*, 高知大学, 16-18, Sep. 2012
2. Kanda, M., Inagaki, A., Miyamoto, T.: New Aerodynamic Parameterization for Real Urban Surfaces derived from LES. *Proceedings of the 8th international conference for urban climate*, 118-121, 6-10 Aug. 2012, Ireland, Dublin.
3. Varquez, A. C. G., Kanda, M., Nakayoshi, M., Adachi, S., Nakano, K., Yoshikane, T., Tsugawa, M., Kusaka, H.: Tokyo localized rainfall simulation using improved urban and sea parameterized WRF-ARW. *Proceedings of the 8th international conference for urban climate*, 79 (4 pages), 6-10 Aug. 2012, Ireland, Dublin.

4. 八木綾子, 瀧本浩史, 稲垣厚至, 神田 学, 藤原忠誠, 藤吉康志: ライダーの視線方向速度から 2 次元風速を推定する方法—Velocity Image Velocimetry—, *日本気象学会 2012 年春季大会*, P242, つくば, 26-28 May 2012
5. 野口淡海, 森脇 亮, 稲垣厚至, 瀧本浩史, 神田 学: 都市境界層における大気乱流及びフラックスの年間スペクトル解析, *日本気象学会 2012 年春季大会*, P237, つくば, 26-28 May 2012
6. 神田 学: 都市型集中豪雨の数値シミュレーションと対策, *日本気象学会 2011 年度秋季大会シンポジウム (公開) 理学と工学の融合が切り開く新しい都市環境学 [基調講演]* 27-34, 17 Nov. 2011, 名古屋大学.
7. Varquez, A. and Kanda, M.: Applicability of WRF-ARW on Spatially Heterogeneous Urban Areas, *The Asia-Oceania Top University League on Engineering - 2011*, Tsinghua University Beijing China, 10-12 Oct. 2011
8. 野口淡海, 森脇 亮, 稲垣厚至, 瀧本浩史, 神田 学: 久が原タワーを用いた大気乱流のスペクトル解析, *日本気象学会 2011 年春季大会予稿集 99*, 18-21 May 2011
9. 宮本崇史, 稲垣厚至, 神田 学: LES を用いた都市気象モデルのためのフィードバックパラメタリゼーション, *地球環境シンポジウム講演集*, 15-16 Sep. 2011, 茨城大学.
10. Nakano, K., Shimoju, R., Nakayoshi, M., Kanda, M. and Kusaka, H.: Evaluation of Urban Effects on Localized Heavy Rain in Tokyo Using a Weather Forecasting Model, *International Workshop on UrbanClimate Projection for better Adaptation Plan*. 2-3 June 2010, Tsukuba, Japan.
11. Varquez, A., Kobayashi, K., Kanda, M. and Kinouchi, T.: "Water and Energy Processes (WEP) Model: Surface Runoff Modeling with Higher Time Resolution for Urban Watersheds", *International Workshop on UrbanClimate Projection for better Adaptation Plan*. 2 - 3 June 2010, Tsukuba, Japan.
12. Kanda, M.: Meso-scale urban parametrization using LES and outdoor experiments., *International Workshop on Urban Climate Projection for better Adaptation Plan*. 2 - 3 June 2010, Tsukuba, Japan.
13. 神田 学: 大気の物理相似則と都市での適

- 用性・留意点，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，69-72，22 April 2010，独立行政法人産業技術総合研究所臨海副都心センター。
14. 福本 恵梨子，下重 亮，須賀 マウロ，神田 学：都市の幾何形状が地表面熱収支へ及ぼす影響，土木学会第 64 回年次学術講演会 講演概要集，435-436，2-4 Sep. 2009，福岡大学。
  15. Oda, R. and Kanda, M.：Cooling Effect of Sea Surface Temperature of Tokyo Bay on Urban Air Temperature. The 7th International Conference on Urban Climate， 29 June - 3 July 2009， Yokohama， Japan.
  16. Onomura, S., Takimoto, H. and Kanda, M.：Influence of a heated wall on urban canopy flow using PIV measurements., The 7th International Conference on Urban Climate， 29 June - 3 July 2009， Yokohama， Japan.
  17. Shimoju, R., Nakayoshi, M. and Kanda, M.：Numerical simulation of sea breeze on high rise buildings to reproduce the localized heavy rain in Tokyo., The 7th International Conference on Urban Climate， 29 June - 3 July 2009， Yokohama， Japan.
  18. Nakayoshi, M., Moriwaki, R., Kawai, T. and Kanda, M.：Mechanism on urban rainfall interception., The 7th International Conference on Urban Climate， 29 June - 3 July 2009， Yokohama， Japan.

[図書] (計 4 件)

1. 神田 学，分担執筆：二つの温暖化—地球温暖化とヒートアイランド—，成山堂，pp124-143，Mar 2012 総ページ数 415 (ISBN 978-4-425-51291-1)
2. 神田 学，分担執筆，第 7 章「都市気象の屋外実験」，気象研究ノート「都市の気象と気候」，神田 学編集，日本気象学会，No224，Feb 2012 総ページ数 296
3. 神田 学，分担執筆，「都市気候」，シミュレーション辞典，日本シミュレーション学会編，コロナ社，Feb 2012 総ページ数 415
4. 神田 学，分担執筆：「ヒートアイランド現象」，風の事典，真木太一 他編，丸善出版株式会社，pp. 198-199，Nov 2011

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

神田 学 (KANDA MANABU)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：90234161

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

稲垣 厚至 (INAGAKI ATSUSHI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号：23760454